PUBLICATION 1490 1972

mousse antigel en horticulture

Agriculture Canada

630.4
C212 Pub. #1490 c 3

On peut obtenir des exemplaires de cette publication à la
DIVISION DE L'INFORMATION
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DU CANADA
OTTAWA
K1A 0C7

3M—10:72

mousse antigel en horticulture

David Siminovitch,[1] Bernard Rhéaume,[1]
Lloyd H. Lyall[2] et James Butler[3]

1. Institut de recherches chimiques et biologiques.
2. Station de recherches d'Ottawa.
3. Laurentian Concentrates Limited, Ottawa (Ont.).

RÉSUMÉ

La mousse non toxique à base de protéines utilisée dans la lutte contre les incendies a été adaptée à la protection des plantations en ligne de tomates et de fraisiers contre les gelées nocturnes. Elle s'applique indifféremment avec un matériel fixe ou mobile.

Suivant l'épaisseur, qui varie de 1 à 3 pouces (2,5 à 7,5 cm), les couvertures de mousse appliquées en fin d'après-midi résistent pendant les périodes de gel nocturne et les premières heures de la matinée. Elles constituent un isolant protecteur contre le refroidissement par rayonnement et advection des tomates, lorsque la température se maintient au-dessous du point de congélation pendant 12 heures consécutives ou à 25°F (-4°C) pendant 6 heures. La mousse est très légère, nullement toxique pour les plantes et se dissipe spontanément 24 à 48 heures après son épandage. Les semis et les plants adultes de tomates, ainsi que les fraisiers en fleurs émergent, survivent et portent des fruits après quatre à huit épandages. Après dispersion, le léger résidu qui demeure sur les feuilles ou les fruits provoque une faible décoloration ou contamination, mais il est facilement éliminé avec de l'eau ou même parfois par la pluie. La Direction des aliments et drogues du ministère de la Santé nationale et du Bien-être social a déclaré la mousse exempte d'éléments toxiques.

L'épandage de mousse permet de planter les tomates plus tôt au printemps et, pendant la récolte en automne, réduit les risques de dommages occasionnés par le gel. On envisage d'en étendre l'application à d'autres cultures telles que le tabac, le melon, le piment, les canneberges et peut-être le raisin. Le concentré de mousse et divers types d'appareils mobiles peuvent être obtenus à des fins expérimentales. La production commerciale du matériel est en bonne voie et l'épandage de mousse est appelé à se généraliser.

INTRODUCTION

L'utilisation de la mousse extinctrice à base de protéines pour la protection des plantes contre le gel a été mentionnée pour la première fois en 1967 (6). Les expériences qui l'ont inspirée étaient préliminaires et consistaient seulement en épreuves de congélation sur quelques plants de tomates et de coléus en pots entièrement immergés dans la mousse. Celle-ci était fabriquée selon une formule spéciale par la Laurentian Concentrates Ltd. à Ottawa, Ontario. Ses propriétés isolantes remarquables, son absence apparente de toxicité et son autodispersion sans résidu appréciable nous ont amené à penser que son utilisation pour la protection des plantes contre le gel, justifiait de plus amples recherches (6). Toutefois, dans la pratique, sa faible stabilité posait un grave problème. Au cours des premières expériences, les meilleures préparations se dissipaient 4 ou 5 heures après l'application. Dans ces conditions, lorsqu'on s'attendait à une gelée en début de matinée, il fallait l'appliquer tard dans la nuit et, si la gelée durait plusieurs heures, la mousse ne tenait pas assez longtemps pour empêcher les plantes de geler.

Les réactions favorables à notre publication ont permis de constater que d'autres partageaient nos convictions quant à la possibilité d'utiliser la mousse à ces fins et, ce qui est encore plus important, elles nous ont mis au fait que des expériences analogues étaient en cours ailleurs. Nous avons appris, par exemple, que J.L. Chesness et son groupe de l'université de l'État de la Louisiane (1 et 2) étaient activement engagés dans l'étude des aspects techniques de la protection contre le gel au moyen de mousse à base de détergents; C.B. Shear et H.L. Barrows, du ministère de l'Agriculture des États-Unis, nous ont appris que depuis 1953, cet organisme travaillait à ce procédé et nous ont fait parvenir leur rapport, non publié à l'époque, sur diverses mousses à base de détergents et de gélatine (5); Chemical Abstracts (7), de son côté, faisait état d'un brevet, délivré en 1959 à la Dow Chemical Company, relatif à la protection des plantes contre le gel par des mousses de méthylcellulose et de saponine. Toutefois, nous n'avons eu connaissance d'aucun rapport, publié avant le nôtre, décrivant l'emploi pratique de ces mousses pour la protection des cultures de plein champ. Depuis lors, Dean A. Eggert de l'université Purdue a décrit le rôle des mousses détergentes dans la protection des fleurs de fraisiers (4).

Encouragés par l'intérêt et l'activité des autres chercheurs, nous avons décidé d'améliorer à tout prix la stabilité des mousses. La société qui collabore avec nous a commencé ses recherches dans ce sens et, vers l'automne 1967, elle a mis au point un concentré satisfaisant. Dans l'intervalle, on avait construit un matériel fixe produisant de grandes quantités de mousse, qui permit de procéder, pour la première fois, à des expériences sur des plantations en ligne. Une forte gélée fournit l'occasion de mettre à l'épreuve les propriétés isolantes de la mousse; les résultats ont été des plus heureux, la stabilité de la mousse s'étant nettement améliorée sans perdre pour autant sa valeur isolante.

Il a paru alors évident que si l'on réussissait à trouver une méthode rapide et économique pour appliquer la mousse sur de grandes superficies, la protection contre le gel deviendrait une réalité pratique. La société s'est attaquée à la mise au point d'une machine mobile expérimentale à cette fin et a fabriqué deux prototypes. Tous deux, munis de diverses combinaisons d'ajutages, ont été essayés dans des champs où, dans des conditions climatiques différentes, ils ont couvert rapidement et complètement des plantations en ligne. Ces machines ont aussi permis d'accroître l'importance et la variété des expériences et d'étudier les problèmes de toxicité, de stabilité et d'isolation sous un angle plus pratique. On a procédé à des essais sur les semis et les plants adultes de tomates, ainsi que sur les fraisiers en fleurs et en fruits. Les résultats ont clairement démontré que l'épandage des mousses stables sur les cultures à l'aide de machines était possible et ont renforcé notre confiance dans leur efficacité contre le gel.

Il s'agit ici du premier rapport scientifique de ces expériences et des observations auxquelles elles ont donné lieu. Il relate principalement le succès remporté par l'épandage manuel et mécanique de la mousse extinctrice stable à base de protéines, dans la protection des cultures contre le gel. Les données ont servi de point de départ à la commercialisation de cette mousse. Nous espérons que le rapport incitera maintenant les stations expérimentales et les établissements commerciaux à intensifier leurs travaux et les cultivateurs à en faire l'essai.

MACHINES ET ÉQUIPEMENT

De nombreux aspects des méthodes utilisées se trouvent exposés dans la section intitulée «Résultats». Nous nous contenterons donc d'indiquer ici le théâtre et l'époque des expériences et de décrire les grandes lignes des procédés mécaniques utilisés. Nous ne nous attarderons pas sur le détail de la construction de ces machines, car des améliorations et des changements radicaux y ont été apportés par la suite. On doit les considérer strictement comme des prototypes.

Toutes les expériences ont été faites dans des plantations en ligne de tomates et de fraisiers en parcelles de multiplication à Ottawa. Les premières, en octobre 1967, ne comportaient qu'un équipement fixe et des épandages à la main; par contre, celles du printemps, de l'été et de l'automne 1968 ont été effectuées presque entièrement avec des appareils mobiles.

Pour obtenir de la mousse, on diluait alors 1 gallon (5 litres) de concentré spécial d'hydrolysats de protéines dans 20 gallons (100 litres) d'eau (ce concentré est maintenant vendu par le fabricant sous le nom de «Agrifoam»); les solutions diluées étaient stockées dans des barils ou réservoirs d'huile de différentes tailles, puis pompées ou refoulées sous pression vers les générateurs de mousse.

Équipement fixe

L'équipement fixe servant à produire et à disperser la mousse était rudimentaire: un baril d'huile de 50 gallons (230 litres), un réservoir d'air comprimé, des

tuyaux d'incendie de 2 pouces (5 cm) de diamètre, un assemblage en fonte en forme de «T» abritant un dispositif spécial destiné à faciliter le brassage et le mélange de l'air à la solution moussante, ainsi que divers manomètres. L'air comprimé refoulait la solution mousseuse, préparée et contenue dans le baril d'huile, vers le joint en «T» où elle était mélangée et brassée sous pression en une fine mousse s'écoulant par un ajutage en éventail au bout d'un tuyau d'incendie (figure 1). Le degré d'expansion de la mousse et son débit à l'orifice étaient réglés par la pression de l'air et le régime du fluide. L'expansion la plus satisfaisante a été de 30:1 environ, soit 50 gallons (230 litres) de concentré dilué dans l'eau donnant 1 500 gallons (7 000 litres) de mousse. Sous une pression d'air de 35 livres par pouce carré (lb/po^2) (2,4 kg/cm^2), on pouvait produire un débit d'environ 90 gallons (400 litres) de mousse par minute. A ce régime, trois rangs de tomates mesurant chacun 50 pieds (15 m) de long et 36 pouces (90 cm) de large étaient, en une demi-heure, complètement recouverts de multiples rubans de mousse de 2 à 3 pouces (5 à 7,5 cm) d'épaisseur (figure 2).

Dans les grandes machines mobiles, l'air comprimé était remplacé par un ventilateur et la pression du fluide produite au moyen d'une pompe centrifuge. Toutefois, étant donné le bon réglage de l'expansion de la mousse obtenu avec l'air comprimé, il est probable que ce dernier sera adopté pour les petits appareils mobiles.

Équipement mobile

Il existait deux types d'appareils mobiles. Le premier comprenait un réservoir-remorque de 200 gallons (900 litres), tiré par un tracteur et adapté à partir d'un pulvérisateur commercial (figure 3). Cette remorque était pourvue d'un ventilateur et d'une pompe centrifuge actionnés par des moteurs à essence. L'air du ventilateur sous 10 lb/po^2 (0,680 kg/cm^2) et 100 pieds cubes par minute (pi^3/min) (2 800 litres/min) et la solution chassée du réservoir par la pompe centrifuge étaient mélangés et brassés dans des chambres contenant un dispositif spécial destiné à former une mousse d'expansion à 30:1. Sous la pression combinée de l'air et du fluide, la mousse était alors poussée énergiquement à travers les conduites rigides et les tuyaux flexibles, vers les buses attachées à l'arrière de la remorque. La pression de l'air et le débit du fluide réglés sur le tracteur par des valves et des manomètres, permettaient de commander l'expansion et le débit de la mousse.

Les améliorations inspirées par l'expérience acquise avec le premier appareil mobile, ont été introduites dans le second. Ce dernier comportait également une remorque tractée, mais son réservoir avait une capacité de 400 gallons (1 800 litres) et le ventilateur, ainsi que la pompe centrifuge, étaient actionnés également par le tracteur (figure 4). La remorque était pourvue de chaque côté d'un groupe de trois ajutages, fixés sur des tiges, que le conducteur du tracteur pouvait modifier hydrauliquement à des niveaux différents. Les deux groupes couvraient de mousse, simultanément, deux rangs de plantes et leur position entre la remorque et le

tracteur permettait à la fois l'application de la mousse et l'alignement du tracteur. Au fur et à mesure que son véhicule avançait entre les rangs, le conducteur pouvait les observer et régler le débit du fluide et la pression de l'air, en vue d'obtenir le degré d'expansion et le régime de production de mousse désirés. Le ventilateur conçu pour 15 lb/po^2 (1 kg/cm^2), avait une capacité allant jusqu'à 400 pi^3/min (11 000 litres/min). La production de mousse s'effectuait à un taux de 120 gallons par minute (gal/min) (550 litres/min) à partir de chacune des six buses des deux groupes. Ce régime permettait d'épandre, en une demi-heure, une couverture de mousse d'environ 6 600 pieds (2 000 m) de longueur, 2 pouces (5 cm) d'épaisseur et 36 pouces (90 cm) de largeur.

RÉSULTATS

Caractéristiques générales des mousses stables

La mousse fortement dilatée, produite par air comprimé ou soufflé à partir d'hydrolysats de protéines dilués dans l'eau, était expulsée de l'ajutage sous forme d'une bande blanche épaisse rappelant, pour la consistance et l'apparence, la mousse de crème à barbe (figure 1). A sa sortie, elle était de texture molle et fluide, mais devenait immédiatement rigide et acquérait une étonnante résistance. On y enfonçait aisément le doigt ou un instrument pointu, mais lorsqu'on en cassait de gros morceaux, ils demeuraient intacts en en équilibre dans la main, sans se courber ni se fragmenter. Une fois appliquée, la mousse comblait facilement un écart de 2 pieds (60 cm) entre les plantes (figure 5) et, vu sa légèreté, ne cassait ou ne courbait que rarement les pousses et les feuilles, même dans le cas des semis de tomates.

La mousse présentait des caractéristiques différentes suivant qu'elle était produite par air comprimé ou par air soufflé mécaniquement. Les variations étaient la plupart du temps attribuables à la pression disponible. Pour le moment, il n'existe encore aucune étude détaillée de tous les facteurs intervenant dans la fabrication de mousses aux propriétés différentes, pas plus d'ailleurs que des mesures physiques exactes de ces propriétés. Nos expériences visaient à obtenir une couverture légère, aussi stable que possible. On a constaté que, grâce à la pression plus forte disponible, les mousses produites par air comprimé étaient uniformément supérieures. Toutefois, l'avantage présenté par l'air comprimé n'a probablement été que temporaire, car on est en train de mettre au point des ventilateurs mécaniques, qui produiront sous peu des mousses de la qualité désirée.

Épandage et couverture

Dans les premières expériences (6), la mousse était nettement moins dilatée, plus lourde et plus fluide que le produit actuel. A la sortie du tuyau de caoutchouc, on la dirigeait vers la base de la plante et on prolongeait l'application jusqu'à ce qu'elle soit complètement recouverte. L'isolation ainsi obtenue était suffisante, mais le coût de revient, la quantité de la mousse et le temps d'application rendaient

le traitement simplement prohibitif. La mousse utilisée dans les expériences décrites dans ce rapport, possédait un fort degré d'expansion et de stabilité, permettant la formation d'une couverture sur toute la plante et d'une couche isolante continue dans le rang. Les parties périphériques de la plante touchaient la mousse et, vu en coupe transversale, le revêtement ressemblait à un tunnel. Il était évident dès l'abord qu'un seul modèle d'applicateur ou d'ajutage ne conviendrait pas à toutes les plantes et à toutes les fins, en raison de leur diversité ou des différences présentées par la configuration des rangs et le besoin d'isolation requis. En conséquence, on a varié les types de couverture, dans le cas des applications manuelles, en modifiant la forme et le contour de l'ajutage et, pour l'épandage mécanique, en combinant de diverses façons et en multipliant le nombre de buses fixées à la remorque du tracteur.

Dans les petites plantations, on a jugé pratique d'utiliser pour l'application manuelle, un ajutage en éventail, de dimensions relativement restreintes, qui épandait une seule bande de mousse de 2 à 3 pouces (5 à 7,5 cm) d'épaisseur et de 20 pouces (50 cm) de largeur (figure 1). Dans les rangs larges, on repassait à deux ou trois reprises jusqu'à ce que les bandes forment une couverture continue. Le traitement par bandes multiples (figure 2) a également été satisfaisant pour l'épandage mécanique sur les rangs larges; mais, pour accélérer l'opération, un groupe de deux ou trois buses fixées à l'arrière ou sur les côtés de la remorque du tracteur appliquait deux ou trois bandes simultanément (figure 4). Les buses étaient séparément ajustables pour la hauteur et le chevauchement des bandes de mousse. Cette méthode assurait la souplesse et l'adaptabilité selon des dimensions des plantes au cours de leur croissance. Sur la figure 4, on peut voir une couverture typique effectuée de cette façon.

Dans les premiers essais, l'expansion irrégulière de la couverture dans la figure 4, s'explique par un mauvais agencement des buses et des mousses. Toutefois, il a été facile de remédier à ces défauts. Le problème de couvrir des tomates dont la croissance était quelque peu avancée, était plus grave, l'écart entre les plants et les tiges en saillie empêchant la formation d'une couverture continue. Les semis de taille moyenne n'auront probablement pas souvent besoin d'une protection aussi complète et les plants de tomates, en pleine croissance et feuillus, présentent une surface qui constitue un support convenable. Le recouvrement des semis de tomates au printemps et des plants adultes à l'automne, ainsi que celui de plantes basses comme le fraisier, ne présente aucune difficulté. Toutefois, les arbres fruitiers et les arbustes peu touffus fournissent un support mécanique insuffisant pour un revêtement de mousse continu et posent encore un problème bien défini. Dans l'épandage mécanique, le réglage des buses mobiles assure une couverture uniforme, même sur des plants de tomates avancés (figures 6 et 7). L'application par rubans de mousse qui jaillissent, se chevauchent et enveloppent chaque plant tour à tour et forment une couverture continue au fur et à mesure que le tracteur et la remorque progressent entre les rangs, est impressionnante à voir. Des couvertures aussi unies résistent à des vents de 15 mph (24 kmh).

Un autre type d'épandage, convenant bien aux rangs larges des plantations de fraisiers, a été réalisé au moyen de la première remorque tractée utilisée dans nos expériences. Dans ce cas, un seul ajutage en forme de croissant, recouvre le rang. Il est fixé à l'arrière de la remorque et suspendu verticalement au-dessus des plantes, et dépose un seul ruban de mousse qui, en un passage du tracteur, recouvre complètement le rang (figure 3). Sa courbe épouse si parfaitement celle des plantations qu'il ne reste aucun espace sur les bords. L'avantage d'un tel ajutage est, qu'une fois construit, il ne demande guère de modification ou d'ajustement et peut être utilisé en permanence pour l'application de mousse aux plants adultes de fraisiers.

De toute évidence, l'emploi plus fréquent de la mousse contre le gel va entraîner la mise au point de modèles d'ajutage nouveaux ou améliorés, car cet élément est sans contredit un facteur important pour un revêtement efficace. Il convient aussi de procéder à des études complémentaires sur la vitesse de la remorque, ainsi que sur les propriétés et le rythme de production de la mousse. On a souvent constaté que lorsque le tracteur dépasse une certaine vitesse, il se produit des brèches dans la couverture de mousse. Il faut donc que le débit de mousse varie avec la vitesse de la remorque, et qu'il augmente avec la demande croissante et les superficies à traiter.

Stabilité

En 1967, la stabilité de la mousse a constitué la mise au point la plus importante réalisée dans ce domaine. Sans cette propriété, nos expériences n'auraient donné aucun résultat satisfaisant. Qu'elle soit produite par air comprimé ou par ventilateur, la mousse fabriquée selon la nouvelle formule, persiste au moins 18 heures après l'application et souvent 24 dans des conditions atmosphériques favorables. Grâce à cette stabilité, lorsqu'on prévoit une gelée nocturne, il suffit d'appliquer la mousse au début de l'après-midi et elle reste efficace toute la nuit et même le lendemain matin.

En plus d'être stable et de protéger pendant les heures de gel, la mousse offre l'avantage de se désintégrer par la suite et se disperser spontanément; les plantes reprennent alors leur croissance et leur photosynthèse normales. L'instabilité et la désintégration de la mousse liquide sont la plupart du temps causées par une perte d'eau. La société qui collabore avec nous a modifié la composition chimique de la mousse extinctrice, de manière à éviter ou à atténuer cette évaporation par un séchage relativement lent; elle conserve ainsi plus longtemps sa structure et sa stabilité. Une fois que la mousse est sèche, elle ne tarde pas à se désintégrer et à se disperser. Sa particularité essentielle est son équilibre entre sa forte stabilité et son autodestruction. Ces qualités antagonistes réagissent intrinsèquement pour protéger les plantes contre les gelées nocturnes de printemps. En général, le gel se produit lorsqu'il n'y a ni soleil ni vent, ou fort peu, et à basses températures. Ces conditions atmosphériques entravent l'évaporation ou la destruction de la mousse pendant les heures où elle protège les plantes. Toutefois, le lendemain matin, un fort soleil et

une température élevée l'évaporent et la désintègrent rapidement, et redonnent aux plantes découvertes les éléments normaux nécessaires à leur croissance et à leur photosynthèse.

Les conditions mentionnées ci-dessus sont idéales pour le gel de printemps. Mais lorsqu'elles varient, la stabilité et la persistance de la mousse se modifient en conséquence. Si la gelée est suivie de journées calmes et fraîches, la mousse subsiste et limite par suite la croissance des plantes. Par contre, si la gelée est précédée de fortes pluies, la mousse risque d'être emportée, car elle est aisément dispersée par l'eau. Le vent accélère aussi sa dispersion. Le vent et la pluie constituent donc un inconvénient avant une gelée et un avantage après. Néanmoins, comme on l'a déjà mentionné, une couverture convenablement appliquée peut résister à des vents de 15 mph (24 kmh).

Pour assurer une protection prolongée, il est possible de fabriquer une mousse plus stable que celles dont il est fait état dans ce rapport. Lorsqu'on prévoit deux nuits de gel consécutives, une mousse dont les propriétés protectrices durent 48 heures, peut être rentable; mais il convient de considérer les effets qu'elle risque d'avoir sur la croissance des plantes pendant la journée de répit. Une couverture prolongée peut entraîner une certaine inanition cumulative des plantes. Lorsqu'on choisit le type de mousse, il faut tenir compte du climat et des espèces végétales.

Dans les figures 3, 4, 7, 8, 9 et 10, on peut constater certaines des remarquables propriétés de stabilité et d'autodestruction inhérentes à la nouvelle mousse. La figure 4 montre une application mécanique irrégulière, effectuée au cours de l'après-midi. La figure 8 montre des plants de tomates sains en train de percer la mousse en désintégration, le matin suivant le gelée. La figure 7 est un gros plan d'une section de couverture uniforme (figure 6) appliquée sur les mêmes tomates quelques semaines plus tard. La figure 7 a été photographiée l'après-midi suivant l'application. La figure 9 montre la même mousse le matin suivant la gelée lorsque les températures sont demeurées basses. Dans la figure 9, la mousse est en train de sécher et de se craqueler, sans qu'aucun plant de tomates n'ait encore percé. La figure 3 montre des fraisiers recouverts d'une mousse appliquée dans l'après-midi, à la fin du printemps, avec une machine ne comportant qu'un seul large applicateur. Dans la figure 10, la mousse se fendille, le matin suivant l'application, la plus grande partie de sa surface étant encore presque intacte.

Isolation et protection

Épandage manuel, 1967 – Les expériences pratiquées le 7 octobre 1967, en début de matinée, à la première gelée d'automne, ont permis de constater que les couvertures de la nouvelle mousse stable assuraient une isolation satisfaisante. A l'époque, il n'existait encore ni équipement mobile ni ventilateur motorisé; la production de mousse s'effectuait par air comprimé, au moyen d'un équipement improvisé que nous avons décrit antérieurement, et l'épandage manuel avec un

tuyau d'incendie reliant le générateur à l'ajutage. L'expérience a porté sur des plants de tomates adultes, chargés de fruits verts et de fruits mûrs et disposés en rangs de 50 pieds (15 m). On en recouvrit un sur deux, au moyen de multiples rubans de mousse de 2 à 3 pouces (5 à 7,5 cm) d'épaisseur et de 20 pouces (50 cm) de largeur (figure 2), les rangs découverts servant de témoins. En septembre et au début d'octobre, le temps avait été doux, ensoleillé et sans gel. Tous les plants et les fruits de tomates étaient sains; aussi a-t-il été facile de repérer les plants survivants et les morts dans les rangs couverts et découverts. On calcula les propriétés isolantes de la mousse, d'après les enregistrements de températures et l'estimation visuelle et photographique du nombre de plants survivants. Le contraste entre les rangs couverts et découverts était si net, qu'il nous suffira d'indiquer ici les températures enregistrées. (Ces propriétés ressortent en effet clairement des graphiques des figures 13 et 14, qui représentent les températures enregistrées après deux applications mécaniques effectuées en 1968, l'une par une gelée légère, l'autre par une gelée intense.)

Dans l'expérience d'octobre 1967, on a appliqué la mousse à 3 ou 4 h de l'après-midi précédant la gelée (figure 5). Au cours de la nuit et de la matinée suivantes, la température extérieure, à 5 pouces (12,5 cm) au-dessus du sol, pendant au moins 7 heures, n'a dépassé à aucun moment le point de congélation; à 3h du matin elle est même descendue à 25°F (−4°C), le point le plus bas de la journée. Au même moment, la température sous la mousse était 38°F (+3°C) et n'a jamais baissé au-dessous du point de congélation.

Le lendemain matin, une fois la mousse enlevée avec de l'eau, l'apparence des plants de tomates confirmait les indications données par les températures. Tous les plants restés découverts étaient morts ou endommagés (figure 11, *à droite*) et ceux protégés par la mousse étaient intacts (figure 11, *à gauche*). De même, tous les fruits des rangs découverts avaient des taches (figure 12, *à gauche*), alors que ceux des rangs couverts en étaient complètement exempts (figure 12, *à droite*). On laissa passer plusieurs jours avant d'examiner les plants qui avaient été recouverts, afin de s'assurer qu'ils ne dissimulaient pas de dommages résiduels ou latents. On n'a constaté aucun changement. Les tomates protégées pendant la gelée paraissaient toujours aussi vigoureuses; par contre, dans les rangs exposés, les feuilles étaient en train de noircir et de sécher et les fruits de pourrir.

En présence de résultats aussi prometteurs, on prit la décision de mettre au point des machines mobiles, en vue de produire et d'appliquer la mousse sur une grande échelle. Les mousses produites par air comprimé avaient maintenant des propriétés isolantes bien établies; quant à celles qui étaient appliquées mécaniquement, elles n'avaient pas encore été expérimentées sous cet angle. Les premières machines mobiles étaient prêtes vers mai 1968, mais il fallut, pour les essayer par temps de gel, attendre à octobre. Au cours de ce dernier mois, on procéda à de nombreuses expériences dont deux seulement, l'une par une gelée légère et l'autre par une gelée rigoureuse, sont rapportées ici. Dans les deux cas, il n'y eut pas

estimation visuelle ni photographique sur la survivance. Étant donné que les tomates succombent au moindre gel, les dommages causés dans les rangs témoins, ne sauraient constituer l'indice de l'intensité du gel ou du degré de protection offert par la couverture de mousse. On a donc enregistré pendant toute la durée de la gelée les températures qui ont servi à calculer avec exactitude la capacité isolante de la mousse appliquée mécaniquement.

Épandage mécanique, 1968 – Ces expériences ont porté sur des semis de tomates, hauts de 18 à 20 pouces (45 à 50 cm), plantés en septembre. On les a entièrement recouverts d'une couche de mousse de 2 à 3 pouces (5 à 7,5 cm) d'épaisseur, appliquée au moyen de trois ajutages en chevauchement et fixés sur une remorque tractée. Les températures ont été prises avec des thermocouples constantan–cuivre blindés, reliés à un potentiomètre enregistreur sur pile et placés à différents niveaux à l'extérieur et sous la mousse. Toutes les 15 minutes, on a enregistré les températures près des plants de tomates, à la surface du sol et à 3 pouces (7,5 cm) au-dessus, dans la masse d'air retenue sous la mousse (figures 13A, 13B, 14A, 14B), ainsi qu'à l'extérieur, à la surface de la mousse et à 36 pouces (90 cm) au-dessus du sol (figures 13C, 14C). On a calculé la moyenne des quatre observations par heure pour tracer les graphiques des figures 13 et 14.

Les figures 13A, 13B et 13C indiquent les variations des températures enregistrées le 5 octobre au cours d'une légère gelée nocturne. La comparaison entre la période pendant laquelle la température s'est maintenue à 32°F (0°C) ou plus sous la mousse à différents niveaux, et celle pendant laquelle la température atmosphérique était au-dessous du point de congélation (en pointillé, sur les figures 13 et 14), indique le degré de protection assuré par la mousse à ces différents niveaux. Il ressort des courbes de la figure 13 que la température atmosphérique, bien qu'au-dessus du point de congélation, était plutôt basse au moment de l'épandage de la mousse, légèrement plus élevée vers minuit et brusquement très froide vers 2h du matin. Cette chute s'est produite lorsque la forte nébulosité s'est subitement dissipée. Pendant environ 4 heures, la température est restée sous le point de congélation à tous les niveaux de l'atmosphère et à la surface de la mousse (en pointillé, dans la figure 13). Tous les plants découverts ont été détruits par le gel. Les températures à l'intérieur de la mousse, présentaient un contraste frappant (figures 13 et 14). Le brusque refroidissement radiatif de l'air n'a que légèrement modifié la température sous la mousse; à la surface et à 3 pouces (7,5 cm) au-dessus du sol, elle avait un peu baissé, mais sans jamais approcher du point de congélation (figures 13A et 13B). Toutes les tomates couvertes ont survécu.

Dès le départ, les températures sous la mousse étaient plus élevées, en raison de la chaleur retenue dans les bulles d'air pendant sa production. Néanmoins, cette chaleur ne pouvait pas expliquer la différentielle accrue entre les températures extérieures et celles enregistrées sous la mousse après 2h du matin (figures 13A et 13B). Cette différence atteignait, en effet, en un point, environ 20°F (11°C) à la surface du sol (figure 13A). La seule explication possible en l'occurrence était

l'isolation assurée par la mousse. Par ailleurs, il ressort de températures enregistrées au cours d'expériences ultérieures que, même lorsque les températures à l'extérieur et sous la mousse sont presque identiques au moment de l'épandage, cet accroissement de la différentielle continue. Sans aucun doute, l'incorporation d'un air plus chaud dans les bulles d'air pendant la production de la mousse, ou l'emploi d'une solution plus chaude, renforcerait les effets protecteurs de l'isolation. La propriété isolante de la mousse s'explique en partie par l'action des bulles d'air captif, qui servent d'écran et empêchent les plantes de perdre de la chaleur. La protection provient aussi de la résistance de la couverture de mousse à la perte par rayonnement, de la chaleur émanant du sol.

Dans l'expérience du 5 octobre, la couche isolante utilisée pour protéger les tomates contre une légère gelée, était beaucoup plus épaisse que ne l'exigeaient les circonstances. Le 31 octobre, une forte gelée fournit l'occasion de procéder à un essai d'isolation plus rigoureux. On enregistra les températures près de gros plants de tomates, alors à peine vivants, car ils étaient restés presque constamment couverts de mousse pour les protéger contre les basses températures et les gels fréquents du mois. Pour cette raison, ils n'ont pas survécu à l'expérience, mais la couverture de mousse les a empêchés d'être complètement détruits pendant la forte gelée. Les courbes des températures enregistrées indiquent la longue durée et la rigueur de la gelée à l'extérieur, à divers niveaux au-dessus du sol et dans le voisinage de la couverture de mousse.

Les températures extérieures de 25°F (-4°C), au moins, ont duré de 6 à 8 heures, suivant la hauteur au-dessus du sol. Il est remarquable de constater que, sous la mousse, les températures, à la surface ou à 3 pouces (7,5 cm) au-dessus du sol, n'ont jamais atteint le point de congélation. Ceci est illustré d'une façon frappante dans les graphiques de la figure 14, par l'absence complète de pointillé dans la courbe des températures enregistrées sous la mousse. L'importance de la différentielle entre les températures à l'extérieur et sous la mousse est entièrement attribuable à la propriété isolante de cette dernière car, au moment de l'application, elles ne différaient guère les unes des autres.

Jamais encore auparavant, on n'avait obtenu une preuve aussi formelle de cette propriété isolante. En presque tous les points de la couverture, l'épaisseur de la mousse était environ 3 pouces (7,5 cm). Il ressort de la courbe de la mousse (figure 14B) qu'une couche isolante moins épaisse, dans les conditions atmosphériques rigoureuses existant au moment de l'expérience, aurait amené les plantes dangereusement près du point de congélation. Dans ce cas particulier, la couverture de mousse, à la jonction des thermocouples, avait environ 1 pouce (2,5 cm) d'épaisseur. Des études complémentaires portant sur des mousses d'épaisseurs diverses, devraient permettre de déterminer quelle épaisseur convient à chaque état de gel.

Les expériences de 1968 ont permis de constater que la mousse produite par

ventilateur et appliquée par équipement mobile, fournit une couverture aussi efficace et un isolant aussi complet que celle obtenue par air comprimé et appliquée manuellement.

Absence de toxicité

Feuilles et fruits de plants de tomates et possibilités de plantations précoces de printemps – Au cours des expériences d'octobre 1967, pratiquées en période de gel, la complète survivance des plants et des fruits de tomates, ainsi que la persistance de leur vitalité, ont montré que la mousse n'entraînait aucun effet toxique immédiat ou latent. Cette constatation est valable, même lorsque la couverture de mousse mouille les pousses ou les feuilles terminales. Lors des essais d'isolation d'octobre 1968, la survivance des semis de tomates après des applications de mousse prolongées et répétées, a montré leur innocuité. La fraîcheur apparente de ces plantes perçant la mousse en train de se désagréger, au lendemain de l'un des nombreux essais de protection contre le gel (figure 8), illustre brillamment avec quelle impunité elles tolèrent des applications répétées. La mousse enfin, parce qu'elle contient de l'azote, a aussi certains effets fertilisants (3).

Les expériences en vue d'étudier les possibilités de plantations de tomates au tout début du printemps, donnent une indication encore plus formelle de l'absence de toxicité de la mousse. On a planté des rangs de semis de tomates, le 7 mai, au lieu de fin mai, qui est la période ordinaire dans la région d'Ottawa. Pour assurer leur protection contre le gel et en vue de procéder à des essais d'épandage mécanique, on les a recouverts de mousse pendant la nuit, à cinq reprises au cours du mois de mai. Il ne se produisit aucune gelée et la température est restée exceptionnellement douce. Ces conditions étaient susceptibles d'accentuer tout effet toxique de la mousse; néanmoins, la croissance des semis ne fut nullement altérée et vers la fin de mai, époque ordinaire de la transplantation, ces plantations précoces étaient très avancées. La figure 15, photographiée le 19 juin, montre le contraste entre les plantations normales et les plantations précoces. Les fruits de ces dernières étaient mûrs et prêts à récolter le 12 août. A titre de témoins, certaines plantations précoces n'avaient pas été recouvertes de mousse. Le rendement en fruits n'a pas présenté de différences marquées entre les rangs couverts et les rangs découverts: on a récolté 36,8 livres (16,7 kg) de tomates d'un rang couvert et 37,4 livres (17 kg) d'un rang découvert.

Feuilles et fleurs de fraisiers intactes – La preuve la plus spectaculaire de l'absence de toxicité de la mousse ressort d'expériences pratiquées sur deux rangs de fraisiers adults. Avant, pendant la floraison et un peu après, fin mai et début juin, on a procédé sur la moitié de chaque rang de fraisiers à huit applications, du type de celle de la figure 5, qui sont restées en place toute la nuit. On ne toucha pas à l'autre moitié, afin qu'elle puisse servir de témoin. A chaque application, la moitié traitée a été complètement recouverte de mousse, comme le montre la figure 6. Le lendemain matin, lorsque la mousse s'est désintégrée, on a constaté que les feuilles

et les fleurs ne portaient aucune trace de dommages (figure 10). La couverture reposant principalement sur les feuilles, quelques fleurs avaient cependant été mouillées par la mousse; malgré cela, elles étaient parfaitement intactes. On a vu des abeilles pénétrer à travers les fissures et la pollinisation et la fructification s'effectuèrent, semble-t-il, normalement. Le 17 juin, cette impression était confirmée d'une façon éclatante par l'apparition dans les rangs traités, de fruits qui continuèrent à mûrir jusqu'au 25. Pendant quelques jours, le rendement en fruits a été aussi élevé dans une moitié que dans l'autre. La production globale de fruits, exprimée en grammes, provenant de plusieurs cueillettes effectuées à ce moment-là dans les parties couvertes et découvertes des rangs présente les résultats suivants:

	Rang 1	*Rang 2*
Moitié couverte de mousse	5 151	8 625
Moitié normale (sans mousse)	4 638	9 743

Au début, les fruits étaient tout aussi gros et sains dans les rangs couverts que dans les autres; plus tard, leur qualité baissa quelque peu et ils commencèrent à paraître légèrement déformés. Le fait n'a rien de surprenant; les fraisiers encore en fleurs et portant leurs premiers fruits, étaient restés au moins quatre fois sous des couvertures de mousse, et ceci pendant 18 heures au minimum. De fait, il est remarquable de ne pas avoir constaté plus de dommages.

Absence de toxicité pour l'homme

Après sa désintégration, la mousse, en raison de sa forte dilution, ne laisse guère de résidu sur les plantes; néanmoins, on a envisagé la possibilité que le faible dépôt qui adhère aux tomates et aux fraises, ait un effet nocif pour l'homme. La composition précise du concentré a été communiquée à la Direction générale des aliments et drogues du ministère de la Santé nationale et du Bien-être social, qui a autorisé son application aux cultures de fruits et légumes.

Commercialisation des récoltes

On a aussi envisagé l'éventualité de la décoloration des fruits et des légumes par le résidu de mousse. Vu la forte dilution de cette dernière, il est peu probable que le résidu soit en quantité suffisante pour entraîner une contamination. Par ailleurs, la mousse est appliquée sous forme de couverture et repose la plupart du temps sur les feuilles des tomates ou des fraisiers. Il est concevable que ce résidu adhère parfois aux feuilles et se dissémine ensuite sur les fruits, mais il est toujours facile de l'enlever avec de l'eau. Lorsque l'application a lieu seulement au stade de la floraison ou de la foliation, cette éventualité ne se présente jamais.

CONCLUSIONS

Les recherches décrites dans le présent rapport font ressortir qu'il était possible de fabriquer une mousse à base de protéines, remplissant toutes les conditions de

stabilité, d'isolation, de facilité d'application, d'absence de toxicité et d'auto-destruction concevables pour obtenir une couverture temporaire, assurant aux plantes une protection idéale contre le gel. On a pu aussi constater que cette mousse se produit avec une égale facilité par air comprimé ou par ventilateur et s'applique manuellement ou, plus rapidement, à l'aide d'une machine, selon l'étendue des cultures. Il importe maintenant, si l'on veut que cet important procédé continue à se développer, d'étendre le champ des expériences et d'y inclure autant de stations expérimentales et d'établissements commerciaux que possible, afin d'en étudier à fond les aspects économiques et techniques. Le concentré de mousse est maintenant commercial et tout cultivateur est à même de procéder à ses propres expériences.

Pendant que nous préparions cette publication, la société avec laquelle nous collaborons, n'a pas cessé d'apporter des changements et des perfectionnements dans la conception et la construction des épandeurs des prototypes mobiles. On dispose déjà pour procéder à des essais sur des superficies grandes et petites, d'un certain nombre de nouveaux modèles mobiles très efficaces, dont la dimension et la capacité varient. Ils appliquent des couvertures de mousse de tous les genres et de toutes les tailles imaginables, avec beaucoup plus de précision, de vitesse et d'uniformité que ceux décrits et utilisés dans les présentes expériences. Cette société prévoit que leur production commerciale va bientôt augmenter et que la documentation sur leur fonctionnement sera en même temps disponible.

Le communiqué de presse sur les résultats obtenus au cours des expériences décrites dans ce rapport, a donné lieu à une correspondance et à des demandes d'information et de matériel, qui dénotent un grand intérêt pour l'utilisation de la mousse stable dans la protection contre le gel. On prévoit que, dans les régions exposées aux gelées, les essais d'épandage de mousse avec les nouvelles machines se pratiqueront sur une grande échelle. On espère aussi que ce mode de protection sera appliqué à d'autres cultures telles que le tabac, le melon, le piment, les canneberges, les bleuets et même le raisin. Les arbres fruitiers à frondaison aérée, comme le pommier et le pêcher, paraissent, dans l'immédiat, plus difficiles à protéger, car ils ne peuvent pas retenir une couverture de mousse continue. Toutefois, dans le cas des agrumes dont la frondaison est plus dense, on pourra peut-être les cultiver de manière à remédier à cet inconvénient.

Au cours d'expériences élargies, il conviendrait d'étudier plusieurs autres aspects de l'utilisation des mousses. Par exemple, on n'a jamais mesuré avec précision les variations de l'isolation en fonction de l'épaisseur de la couverture. Chesness et ses collègues ont bien procédé à une série d'études de ce genre, mais seulement sur les mousses dont ils disposaient (2). Des travaux s'imposent sur les mousses à base de protéines, car l'épaisseur de la couche influe sur le coût d'épandage. A partir de données sur l'isolation et les conditions météorologiques qui établissent les contraintes à prévoir, il devrait être possible de déterminer d'une façon précise, pour chaque culture à protéger, l'épaisseur et le coût de la couverture. La rigueur et la fréquence des gelées, ainsi que la valeur de la récolte, indiqueront alors les

exigences auxquelles la mousse doit répondre et s'il est possible d'assurer la protection des plantations.

Cette méthode de protection, pour être aussi économique que possible, doit être appuyée sur des techniques météorologiques précises, prévoyant avec exactitude la rigueur et l'heure de la gelée. Auparavant, ces prévisions avaient une valeur limitée, parce qu'on ne pouvait pas faire grand-chose pour assurer la protection des grandes plantations. La méthode actuelle d'utilisation des mousses à cet effet serait plus précise si les prévisions relatives au gel, reposaient sur l'analyse par ordinateur des données météorologiques.

REMERCIEMENTS

Les enregistrements de températures, qui figurent dans ce rapport, sont dus à M. Jack Bujold, de la Section de la météorologie agricole de l'Institut de recherches sur les végétaux. Les auteurs désirent aussi exprimer leur gratitude à M. Peter Voisey et aux autres membres du Service de recherches techniques, pour l'aide apportée lors des premiers stades d'assemblage des appareils mobiles. Ils sont également reconnaissants de l'intérêt du feu M. Rolf M. Hochster, directeur de l'Institut de recherches biologiques et chimiques et de M. Charles J. Bishop, coordonnateur de la Direction de la recherche, intérêt qu'ils n'ont cessé de manifester à l'égard des progrès et de la mise au point du projet relatif aux mousses. Leurs remerciements vont également à M. Keith Pomeroy, pour l'aide et l'intérêt dont ils lui sont redevables.

RÉFÉRENCES

1. Chesness, J.L., Braud, H.J. et Hawthorne, P.L. 1968. Freeze protecting strawberries with foam insulaton. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. Abstr. 109A:103.
2. Chesness, J.L., Braud, H.J. et Hawthorne, P.L. 1968. Freeze protecting strawberries with foam insulation. Rapport présenté à la réunion de la Amer. Soc. Agr. Eng., Chicago, Illinois.
3. Desjardins, R.L. et Siminovitch, D. 1968. Microclimatic study of the effectiveness of foam as protection against frost. Agr. Meteorol. 5:291–296.
4. Eggert, Dean A. 1968. Use of liquid foam to prevent freeze injury to strawberry blossoms. HortScience 3:11–12.
5. Shear, C.B. et Barrows, H.L. 1953. Insulating foam for the protection of plants against frost. Crop Research Division, U.S.D.A. Mimeo CR 44-63.
6. Siminovitch, D., Ball, W.L., Desjardins, R.L. et Gamble, D.S. 1967. Use of protein-based foams to protect plants against frost. Can. J. Plant Sci. 47:10–17.
7. Thiegs, B.J. et Wright, N. 1959. Foam compositions for protecting plants from frost damage. U.S. Patent No. 2,875,555. Chem. Abstr. 53:9527.

Figure 1. Épandage manuel de mousse sur des plants adultes de tomates.

Figure 2. Épandage de multiples bandes de mousse par machine fixe à un rang sur deux de plants de tomates.

Figure 3. Épandage de mousse par appareil mobile d'une capacité de 200 gallons (900 litres), sur des rangs de fraisiers en fleurs.

Figure 4. Épandage de mousse par appareil mobile de 400 gallons (1 800 litres) tiré et actionné par tracteur.

Figure 5. Pont de mousse appliqué manuellement, reposant sur des plants de tomates.

Figure 6. Épandage uniforme de mousse par appareil mobile, sur des plants de tomates.

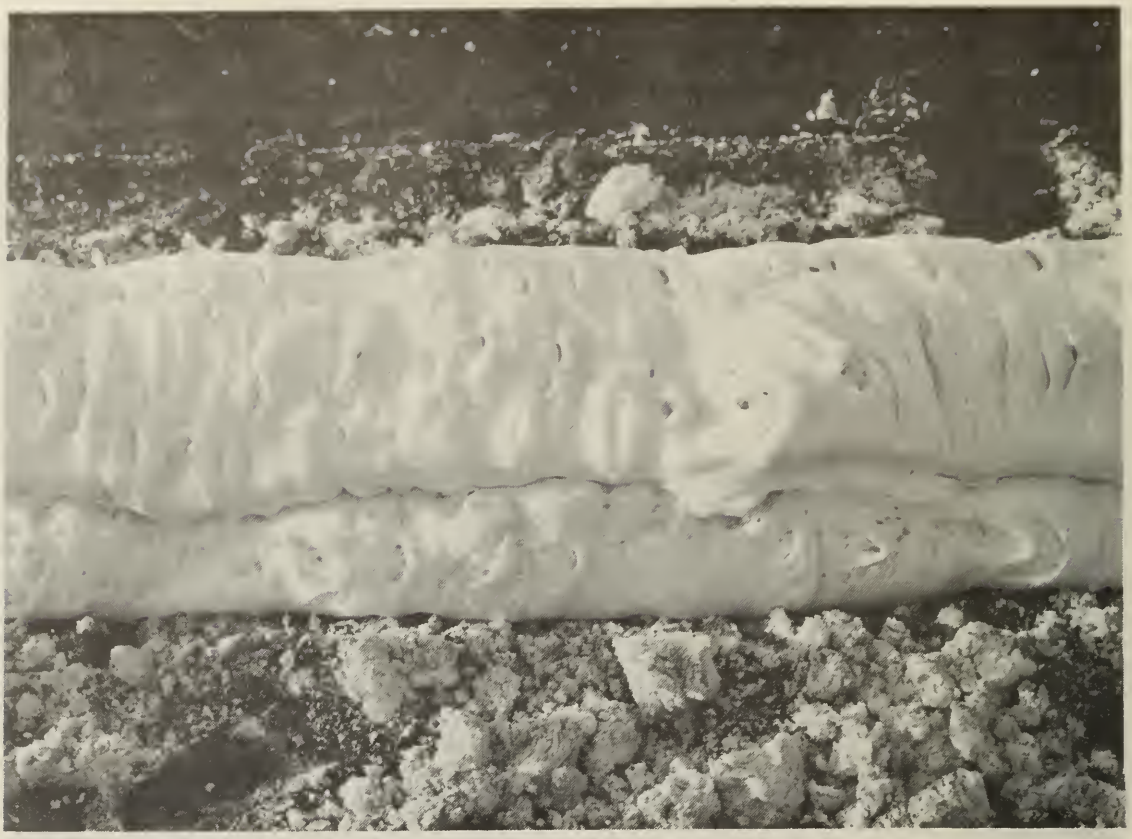

Figure 7. Gros plan d'un épandage uniforme de mousse par appareil mobile, sur des plants de tomates.

Figure 8. Plants de tomates perçant la mousse en désintégration, 24 heures environ après l'épandage.

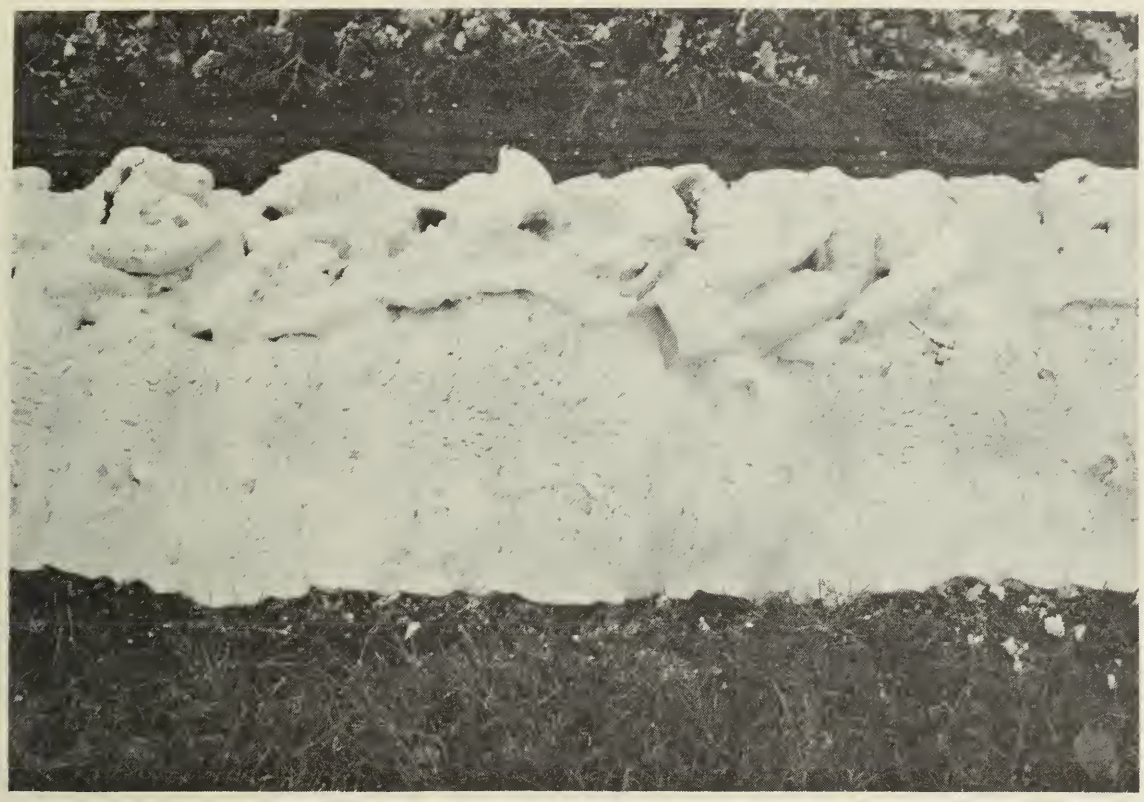

Figure 9. Apparence d'une couverture de mousse, 18 heures environ après son épandage.

Figure 10. Plants sains et fleurs de fraisiers perçant la mousse, 20 heures après son épandage.

Figure 11. (à gauche) Plants survivants dans un rang de tomates précédemment couvert; (à droite) plants morts et endommagés dans un rang découvert.

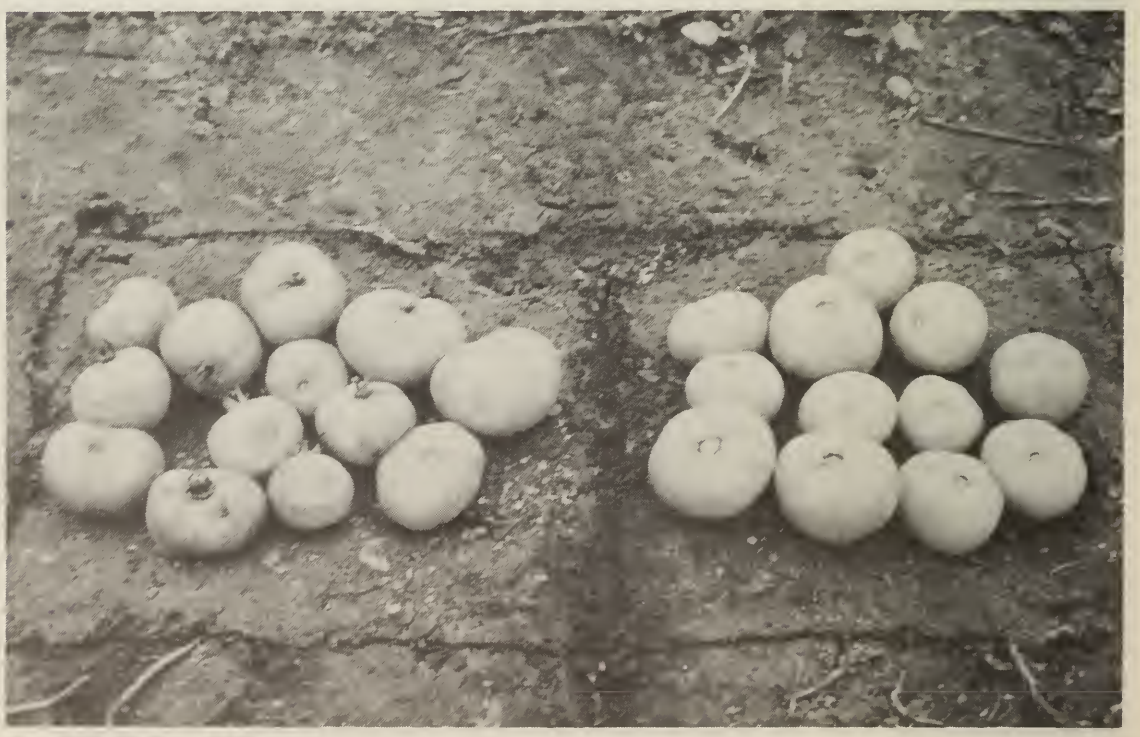

Figure 12. (à gauche) Tomates vertes endommagées par le gel, prises au hasard dans les rangs découverts; (à droite) tomates vertes intactes provenant de rangs couverts.

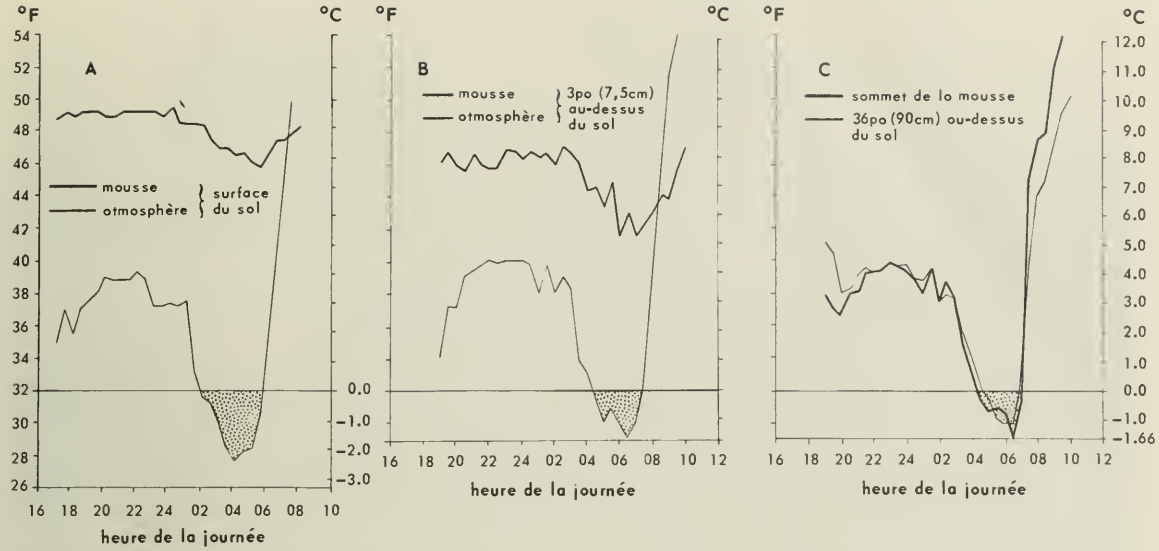

Figure 13. Variations de la température (en degrés F et C), le 5 octobre 1968, durant une gelée légère: A, sous la mousse et dans l'atmosphère à la surface du sol; B, sous la mousse et dans l'atmosphère à 3 pouces (7,5 cm) au-dessus du sol; C, dans l'atmosphère à la surface de la mousse et à 36 pouces (90 cm) au-dessus du sol.

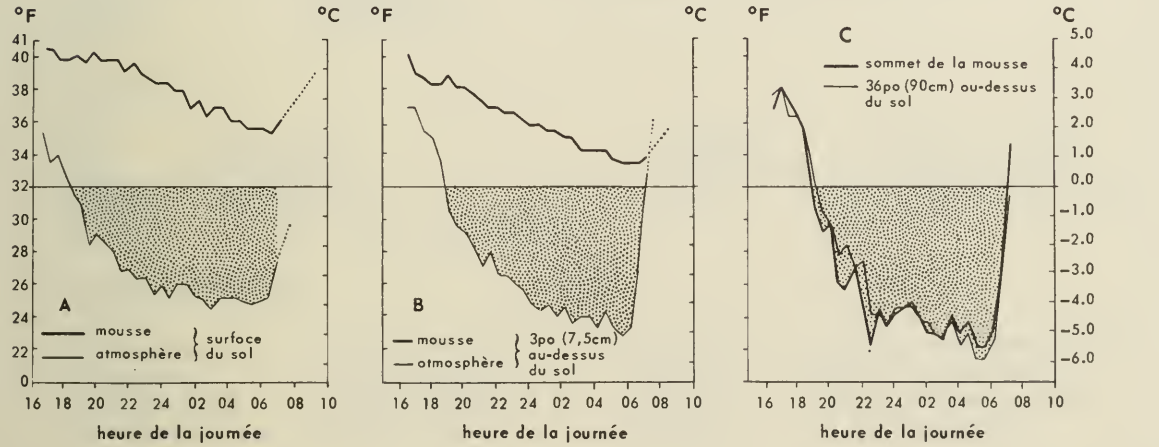

Figure 14. Variations de la température (en degrés F et C), le 31 octobre 1968 durant une forte gelée: A, sous la mousse et dans l'atmosphère à la surface du sol; B, sous la mousse et dans l'atmosphère à 3 pouces (7,5 cm) du sol; C, dans l'atmosphère à la surface de la mousse et à 36 pouces (90 cm) au-dessus du sol.

Figure 15. Autre avantage de la mousse, manifesté par la croissance des plantations précoces (7 mai 1968) (à droite), en comparaison de celle de plantations régulières de tomates (27 mai 1968) (à gauche).

LIBRARY / BIBLIOTHEQUE
AGRICULTURE CANADA OTTAWA K1A 0C5
3 9073 00065949 2

TABLE DE CONVERSION

LONGUEUR

pouce	= 2,54 cm	millimètre	= 0.039 po
pied	= 0,3048 m	centimètre	= 0.394 po
verge	= 0,914 m	décimètre	= 3.937 po
mille	= 1,609 km	mètre	= 3.28 pi
		kilomètre	= 0.621 mille

SURFACE

po carré	= 6,452 cm^2	cm^2	= 0.155 po carré
pi carré	= 0,093 m^2	m^2	= 1.196 verge carrée
v carrée	= 0,836 m^2	km^2	= 0.386 mille carré
mille carré	= 2,59 km^2	ha	= 2.471 acres
acre	= 0,405 ha		

VOLUME

pouce cube	= 16,387 cm^3	cm^3	= 0.061 po cube
pied cube	= 0,028 m^3	m^3	= 31.338 pi cubes
verge cube	= 0,765 m^3	hectolitre	= 2.8 boisseaux
boisseau	= 36,368 litres	m^3	= 1.308 verge cube
pied planche	= 0,0024 m^3		

CAPACITÉ

once liquide	= 28,412 ml	litre	= 35.2 onces liquides
chopine	= 0,568 litre	hectolitre	= 26.418 gallons
gallon	= 4,546 litres		

POIDS

once	= 28,349 g	gramme	= 0.035 once avdp
livre	= 453,592 g	kilogramme	= 2.205 lb avdp
quintal	= 45,359 kg	tonne	= 1.102 tonne courte
tonne	= 0,907 tonne (métrique)		

PROPORTION

1 gal/acre	= 11,232 litres/ha	1 litre/ha	= 14.24 on liquides/acre
1 lb/acre	= 1,120 kg/ha	1 kg/ha	= 14.5 on avdp/acre
1 lb/po carré	= 0,0702 kg/cm^2	1 kg/cm^2	= 14.227 lb/po carré
1 boi/acre	= 0,898 hl/ha	1 hl/ha	= 1.112 boi/acre